



Н.А. Гриневич

# **МЕТОДИКА ПОДБОРА СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ПЛОТНОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

Екатеринбург  
2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

Н.А. Гриневич

# **МЕТОДИКА ПОДБОРА СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ПЛОТНОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

Учебно-методическое пособие  
для обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».  
Очная и заочная формы обучения

Екатеринбург  
2018

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.  
Протокол № 1 от 6 сентября 2017 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент кафедры ТиДС Чижов А.А.

Редактор Л.Д. Черных  
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 15.10.18		Поз. 42
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,09	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Бетоны – это искусственные каменные материалы, полученные в результате затвердевания тщательно подобранной смеси вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителя, а также специальных добавок. Смесь этих материалов до затвердевания называют бетонной смесью.

Бетоны подразделяют:

- *по плотности* – на особо тяжелые (плотность более  $2500 \text{ кг/м}^3$ ), тяжелые ( $1800...2500 \text{ кг/м}^3$ ), легкие ( $500...1800 \text{ кг/м}^3$ ), особо легкие или теплоизоляционные (менее  $500 \text{ кг/м}^3$ );

- *по виду вяжущего* – неорганические и органические вяжущие. К бетонам на неорганических вяжущих относят цементные (вяжущее – портландцемент и его разновидности), силикатные (известково-кремнеземистые вяжущие), гипсовые (гипсовые вяжущие); к бетонам на органических вяжущих: асфальтобетоны (на битуме) и полимербетон (на синтетических смолах);

- *по структуре* – со слитной структурой, ячеистые и крупнопористые;

- *в зависимости от производственного назначения*: конструкционные (для изготовления конструкций промышленных и гражданских зданий и инженерных конструкций), гидротехнические (облицовка каналов, плотины, трубы и другие гидротехнические сооружения), дорожные (дорожные и аэродромные покрытия) и специальные (жаропрочные, кислотоупорные).

Каждой разновидности бетона присущи свои особенности. Однако наибольшее распространение в строительстве получил тяжелый (обычный) цементный бетон со слитной структурой. Далее будем называть его просто бетон. Он обладает рядом свойств, которые в первую очередь зависят от свойств бетонной смеси.

В настоящих методических указаниях изложены основные положения единой методики подбора состава тяжелого плотного цементного бетона. В этой методике основным показателем качества бетона выбран показатель прочности при сжатии.

### Основные условные обозначения и сокращения

$R_b$  – средняя расчетная прочность бетона к определенному возрасту, МПа;

$OK (Ж)$  – подвижность (жесткость) бетонной смеси, см;

$HKЩ$  – наибольшая крупность заполнителя, мм;

$M_{кр}$  – модуль крупности песка;

$B$  – класс бетона, МПа;

$Ц, Щ, П, В$  – расход цемента, щебня, песка, гравия,  $\text{кг/м}^3$ , соответственно;

$\rho_{ц}, \rho_n, \rho_{щ}$  – истинные плотности цемента, песка, щебня, кг/л, соответственно;

$\rho_{нас.щ}$  – насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{м.з}$  – межзерновая пустотность щебня в стандартно-насыпном состоянии в долях единицы;

$R_{ц}$  – активность цемента (фактическая прочность), МПа;

$A, A_I$  – коэффициенты, характеризуют качество заполнителей;

$B/Ц$  ( $Ц/B$ ) – водоцементное (цементно-водное) отношение;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен;

$\rho_{б,с}$  – объемная масса уплотненной бетонной смеси, кг/л;

$R_{28}, R_n$  – прочность бетона в возрасте 28 и  $n$  суток, соответственно, МПа;

$W_i$  – влажность по массе  $i$ -фракции заполнителя, %;

$B_p, Z_p$  – расход воды и заполнителя в рабочем составе, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$B^0, Z^0$  – расход воды и заполнителя по номинальному составу, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$D_p$  – доза материала по массе, кг;

$P_p$  – расход материала в рабочем составе по массе, кг/м<sup>3</sup>;

$V_n$  – объем замеса, м<sup>3</sup>;

$П, Щ$  – расход песка и крупного заполнителя с учетом содержания песка в крупном заполнителе  $П_{щ}$  и крупного заполнителя в песке  $Щ_n$ .

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие методические указания определяют порядок выбора материалов для бетона и основной метод подбора составов тяжелого бетона различных марок (классов) по прочности на сжатие. Класс бетона по прочности – это его гарантированная прочность с обеспеченностью 0,95. Бетоны приготовлены с минимальным расходом цемента различных видов и марок на тяжелых заполнителях, применяемых для изготовления сборных железобетонных конструкций и возведения монолитных сооружений при нормальных условиях твердения (без тепловой обработки).

1.2. Состав тяжелого бетона нормального твердения подбирается расчетно-экспериментальным методом с использованием формул, графиков, таблиц, а также данных об активности цемента, свойствах и качестве заполнителей.

1.3. Подбор состава бетона включает в себя определение номинального состава, расчет и корректировку рабочего состава, расчет и передачу в производство рабочих дозировок.

1.4. Подбор номинального состава бетона должен выполняться по утвержденному заданию.

1.5. Рабочие составы бетона назначают при переходе на новый номинальный состав и далее – при поступлении новых партий материалов тех же видов и марок, которые принимались при подборе номинального состава с учетом их фактического качества.

1.6. Рабочую дозировку назначают по рабочему составу бетонной смеси с учетом объема приготавливаемого замеса.

## **2. ЗАДАНИЕ НА ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА**

Настоящее учебно-методическое пособие определяет порядок выбора материалов для бетона и основной метод подбора состава тяжелого бетона.

Подбор состава тяжелого бетона производится расчетно-экспериментальным методом абсолютных объемов, разработанным Б.Г. Скрамтаевым и Ю.М. Багиеновым.

2.1. Задание на подбор состава бетона должно быть составлено для конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии.

2.2. Задание должно содержать:

- нормируемые показатели качества бетона в соответствии с техническими требованиями стандартов, технических условий или проектной документации на конструкции конкретных видов, для которых предназначен бетон;

- показатели качества бетонной смеси, длительность и режимы твердения бетона и другие условия производства, принимаемые по технологической документации, разработанной в соответствии с действующими стандартами, нормами и правилами;

- показатели однородности прочности бетона, а также соответствующий им средний уровень прочности, планируемые на предстоящий период;

- ограничения по составу бетона и применению материалов для его приготовления, установленные нормативно-технической и технологической документацией.

2.3. Состав бетона следует подбирать, исходя из среднего уровня прочности.

Значения среднего уровня прочности для подбора состава бетона принимают по ГОСТ 18105 с учетом фактической однородности бетона и планируемых мероприятий по ее повышению.

Для случаев, когда отсутствуют данные о фактической однородности бетона, средний уровень прочности при подборе его состава принимают равным требуемой прочности по ГОСТ 18105 для бетона данного класса или марки при коэффициенте вариации, равном 13,5 % для тяжелого бетона.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

3.1. Материалы для приготовления бетона должны отвечать всем требованиям, изложенным в государственных стандартах на эти материалы. При несоответствии отдельных материалов указанным требованиям необходимо провести их испытание в бетонах и дать технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности их применения.

3.2. Рациональные марки цемента для бетона различных классов приведены в табл. 3.1. Выбор вида цемента для различных условий работы конструкций проводится согласно табл. 3.2.

3.3. Для бетонов низких марок при наличии цемента высокой активности следует применять добавки молотого песка, золы-уноса ТЭС, молотого кислого гранулированного шлака, активные минеральные добавки естественного происхождения.

Таблица 3.1

Рациональные марки цемента для бетонов различных классов

Класс бетона по прочности	Марка цемента	Класс бетона по прочности	Марка цемента
B10	M300	B35	M 500 - M 600
B15	M 300 - M 400	B40	M 500 - M 600
B20	M 300 - M 400	B45	M 500 - M 600
B25	M 400 - M 500	B50 и выше	M 600 - M 700
B30	M 400 - M 500	—	—

3.4. Рекомендуется применять добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), позволяющих повысить подвижность бетонных смесей, экономить цемент, улучшить структуру и свойства затвердевшего бетона, его коррозионную стойкость и морозостойкость.

Таблица 3.2

Выбор вида цемента для различных условий работы конструкций

Условия работы конструкций	Вид цемента			
	Портланд-цемент	Портланд-цемент с минеральными добавками	Шлакопортланд-цемент	Пуццолановый портланд-цемент
Внутри зданий с относительной влажностью воздуха: до 60 % более 60 %	р/р р/р	р р	р/р р/р	н д
На открытом воздухе (при воздействии атмосферных условий)	р/р	р	д	н
При воздействии сред, агрессивных по содержанию сульфатов	н/н	н	д/д	р
То же при одновременном систематическом попеременном замораживании и оттаивании или увлажнении и высыхании	н/н	н	д/н	н
При действии сред, агрессивных по содержанию сульфатов, при необходимости обеспечения пониженного тепловыделения	н/н	д	р/р	р
В подземных и гидротехнических сооружениях	д/н	д	д/н	р
В зоне попеременного воздействия воды и мороза (облицовки каналов, гидросооружений, открытых емкостей)	д/н	н	н/н	н

*Примечания:* 1. В знаменателе приведены данные для быстротвердеющего портландцемента и шлакопортландцемента.

2. В таблице даны следующие обозначения: р – рекомендуется; д – допускается; н – не допускается.

3.5. Основным мелким заполнителем для бетонов является природный песок. Допускается при соответствующем обосновании применять мелкие пески, отсеб мелочи после дробления горной породы на щебень, а также мелкозернистые отходы промышленности: золошлаковую смесь от ТЭС, дробленый котельный шлак.

3.6. В качестве крупного заполнителя в бетоне могут быть использованы щебеночные и гравийные материалы естественного происхождения, а также искусственные щебни типа "керамдор", "лека" и др. Допускается



применение щебневидных и, при достаточном обосновании, гравиеподобных отходов, получаемых при переработке и обогащении черных и цветных металлов, асбеста, шлаков и др.

3.7. Не допускается применять щебень из осадочных пород с примесью мергеля или аморфного кремнезема, разрушающихся при воздействии атмосферных факторов или щелочей, содержащихся в цементе. Не допускается применять природную гравийно-песчаную смесь без ее отсева на песок и гравий, а также гравий, содержащий в своем составе зерна глинистого сланца, легко разрушающиеся при насыщении их водой и замораживании. Исключением являются оптимальные гравийно-песчаные смеси, соответствующие техническим условиям в природном состоянии.

3.8. Для приготовления бетонной смеси и поливки бетона в процессе твердения допускается применять воду из хозяйственного водопровода, рек или естественных водоемов, имеющую водородный показатель pH не менее 4 и содержащую не более 5 г/л минеральных солей, в том числе сульфатов не более 2,7 г/л. Болотные и сточные воды без очистки применять нельзя. Морскую воду с содержанием солей не более 3,4 % разрешается применять, когда допускается появление высолов на поверхность бетона.

## 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА

### 4.1. Задание на подбор состава бетона

4.1.1. Задание на подбор состава бетона должно быть составлено в соответствии с проектом сооружения для конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии. Задание для обучающихся формулирует преподаватель.

#### 4.1.2. Задание должно содержать:

- среднюю расчетную прочность бетона к определенному возрасту  $R_b$ ;
- подвижность или жесткость бетонной смеси  $OK (Ж)$ ;
- вид и наибольшую крупность зерен крупного заполнителя  $HKЩ$ ;
- модуль крупности применяемого песка  $M_{кр}$ ;
- условия эксплуатации сооружения, позволяющие выбрать вид применяемого цемента.

4.1.3. В задание могут быть включены следующие дополнительные данные:

- длительность и режимы твердения бетона, требуемая доля марочной прочности к заданному сроку (разопалубочная, передаточная прочности);
- марки бетона по морозостойкости, водопроницаемости, водопоглощению, влажности, истираемости и т.д.;
- ограничения по составу бетона и применяемым материалам.

## 4.2. Расчетная прочность бетона

4.2.1. Прочность бетона в контролируемом возрасте характеризуют двумя способами:

- классами бетона по прочности на сжатие и осевое растяжение, причем основным является класс по прочности на сжатие;
- марками по прочности на сжатие, на осевое растяжение, на растяжение при изгибе.

Класс или марку по прочности на сжатие контролируют во всех случаях, а по другим характеристикам прочности – если установлено нормами проектирования конструкции. Прочность на сжатие контролируют на кубах с ребром 150 мм или цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 300 мм. Марка соответствует средней прочности бетона, а класс – его гарантированной прочности с обеспеченностью 0,95.

4.2.2. В соответствии с требованиями ГОСТ 26633 для конструкций прочность бетона характеризуется классами. Между классом бетона  $B$  и прочностью бетона в партии  $R_m$ , МПа, принимаемой за расчетную, имеется зависимость:

$$B = R_m (1 - t \nu), \quad (4.1)$$

где  $t$  – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона. При обеспеченности 0,95  $t = 1,64$ ;  $\nu$  – коэффициент вариации прочности бетона, %:

$$\nu = S_m / R_m, \quad (4.2)$$

где  $S_m$  – среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии, МПа. Среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии определяется по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}. \quad (4.3)$$

За нормативное принимают значение  $\nu = 13,5$  %. При указанных значениях  $t$  и  $\nu$  расчетную кубиковую прочность определяют по формуле

$$R_m = B / 0,0778, \quad (4.4)$$

где  $B$  назначается в МПа, а  $R_m$  в кгс/см<sup>2</sup>, принимая 1 МПа  $\approx 10$  кгс/см<sup>2</sup>.

Прочность бетона в партии  $R_m$ , МПа, вычисляют по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (4.5)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии. За единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона в одной серии образцов, определенную по ГОСТ 10180.

4.2.3. Соотношения между классами по прочности на сжатие, расчетной (средней) прочностью и марками бетона приведены в табл. 4.1. По заданному классу  $B$  определяют расчетную прочность бетона.

Таблица 4.1

Соотношение между классами бетона по прочности  
на сжатие и марками

Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона ( $\bar{R}$ )*, кгс/см <sup>2</sup>	Ближайшая марка бетона по прочности	Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса, %, $\frac{M - \bar{R}}{\bar{R}} \cdot 100$
B3,5	45,8	M50	+9,2
B5	65,5	M75	+14,5
B7,5	98,2	M100	+1,8
B10	131,0	M150	+14,5
B12,5	163,7	M150	-8,4
B15	196,5	M200	+1,8
B20	261,9	M250	-4,5
B22,5	294,5	M300	+1,9
B25	327,4	M350	+6,9
B26,5	359,9	M350	-2,7
B30	392,9	M400	+1,8
B35	458,4	M450	-1,8
B40	523,9	M550	+5,0
B45	589,4	M600	+1,8
B50	654,8	M700	+6,9
B55	720,3	M700	-2,8
B60	785,8	M800	+1,8
B65	851,5	M900	+5,7
B70	917,0	M900	-1,8
B75	932,5	M1000	+1,8
B80	1048,0	M1000	-4,9

\* Средняя прочность бетона  $\bar{R}$  рассчитана при коэффициенте вариации  $v$ , равном 13,5 %, и обеспеченности 95 %.

4.2.4. Если неоднородность изготавливаемого бетона выше заданной, то есть  $v > 13,5 \%$ , то чтобы обеспечить назначенный для данной конструкции класс бетона, приходится согласно формуле (4.1) увеличивать расчетную марку бетона с соответствующим увеличением расхода цемента, что экономически не выгодно.

4.3. При контроле прочности по образцам среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии  $S_m$ , МПа, при числе единичных значений прочности бетона в партии  $n$  больше шести вычисляют по формуле (4.3). Если число единичных значений прочности бетона в партии от двух до шести, значение  $S_m$  вычисляют по формуле

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (4.6)$$

где  $W_m$  – размах единичных значений прочности бетона в контролируемой партии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от числа единичных значений  $n$  и принимаемый по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения коэффициента  $\alpha$

Число единичных значений $n$	2	3	4	5	6
Значение коэффициента $\alpha$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

#### 4.4. Качество бетонной смеси

Подвижность и жесткость бетонной смеси устанавливают для вибрируемых смесей по табл. 4.3 и уточняют в зависимости от характера и размеров конструкций, степени армирования, способа транспортировки и интенсивности уплотнения смеси.

Таблица 4.3

Подвижность (жесткость) бетонной смеси в зависимости от вида бетонной конструкции

Конструкция	Подвижность	
	ОК, см	Ж, с
Сборные железобетонные на жестких смесях с немедленной распалубкой	0	20...10
Подготовка под фундаменты и полы, дорожные и аэродромные покрытия	1...2	10...6
Массивные неармированные и с редко расположенной арматурой	2...4	6...4

Окончание табл. 4.3

Конструкция	Подвижность	
	ОК, см	Ж, с
Каркасные железобетонные (плиты, балки, колонны)	4...8	4 и менее
Железобетонные с густо расположенной арматурой (бункеры, силосы и др.)	8...10	Менее 2
Элементы кассетные и для объемно-сборного домостроения	12...18	-
Буронабивные сваи, шахтные стволы, конструкции, сильно насыщенные арматурой и закладными деталями (стены АЭС, швы и т.п.), препятствующими укладке смеси	20...24	-

#### 4.5. Характеристики заполнителей

Наибольшая крупность заполнителей в зависимости от видов бетонируемых элементов назначается по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Наибольшая крупность щебня (гравия) (НКЩ), применяемого при производстве железобетонных конструкций

Вид конструкций	Допускаемая наибольшая крупность заполнителя, мм
Ребристые конструкции, многопустотные панели, элементы тонкостенных оболочек, балки и другие изделия с размерами ребер, стенок полок до 25 мм или с многорядной арматурой	10
То же, армированные с наименьшими размерами ребер, стенок, полок, от 25 до 80 мм, с расстоянием между стержнями арматуры более 15 мм	20
Крупноразмерные изделия (колонны, балки, ригели, фундаментные плиты, блоки и др.) с расстоянием между стержнями арматуры более 30 мм	40

Содержание фракций крупного заполнителя в смеси принимается по табл. 4.5.

Таблица 4.5

Содержание фракций крупного заполнителя в щебеночной смеси

НКЩ, мм	Соотношения между фракциями, %, при размере фракций				
	5...10	10...20	20...40	40...80	80...120
10	100	-	-	-	-
20	35	65	-	-	-
40	40...60	-	40...55	-	-
80	25...35	-	25...35	30...50	-
120	15...25	-	15...25	25...35	15...45

Для бетона с прочностью до В20 рекомендуется рядовой крупный заполнитель:

- гравий;
- карбонатный щебень;
- для В30 – улучшенный крупный заполнитель: мытые щебень и щебень из гравия;
- для В40...В50 – высококачественный крупный заполнитель: гранитный и базальтовый щебень;
- для В50 и выше – особо высококачественный щебень из незатронутых выветриванием пробных изверженных пород с шероховатой поверхностью излома при дроблении (мелкокристаллические граниты и т.п.).

4.6. Минимальный расход цемента для железобетонных конструкций должен быть не менее 220 кг/м<sup>3</sup>. При применении добавки золы-уноса расход цемента может быть снижен до 180 кг/м<sup>3</sup>. Для бетона внутренних зон гидротехнических плотин расход цемента допускается снижать до 100 кг/м<sup>3</sup> (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Минимальный расход цемента

Вид конструкции	Условия эксплуатации	Вид и расход цемента, кг/м <sup>3</sup>		
		ПЦ-Д0, ПЦ-Д5 ССПЦ-Д0	ПЦ-Д20, ССПЦ-Д20	ШПЦ, ССШПЦ
Неармированные	Без атмосферных воздействий	Не нормируют		
	При атмосферных воздействиях	150	170	170
Армированные с ненапрягаемой арматурой	Без атмосферных воздействий	150	170	180
	При атмосферных воздействиях	200	220	240
Армированные с преднапряженной арматурой	Без атмосферных воздействий	220	240	270
	При атмосферных воздействиях	240	270	300

На практике часто минимальный расход цемента назначают в соответствии с требованиями нормативного документа – СНиП 82-02-95 «Федеральные ( типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций» (далее – типовые элементные нормы – ТЭН).

*Примечание.* Соотношение между классами и марками бетона приведено в табл. 4.1.

Классификация бетонных смесей приведена в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Классификация бетонных смесей в зависимости  
от их удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю:		
	жесткости, с	подвижности, см	
		осадка конуса	расплыв конуса
Жесткие смеси			
Ж4	31...60	-	-
Ж3	21...30	-	-
Ж2	11...20	-	-
Ж1	5...10	-	-
Подвижные смеси			
П1	4 и менее	1...4	-
П2	-	5...9	-
П3	-	10...15	-
П4	-	16...20	26...30
П5	-	21 и более	31 и более

## 5. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛЬНОГО СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

### 5.1. Основные закономерности

В основу способа положены три функциональные и две экспериментально установленные закономерности.

5.1.1. Принцип абсолютных объемов – сумма абсолютных объемов всех компонентов рационально подобранной, хорошо перемешанной и тщательно уплотненной бетонной смеси примерно равна единице, то есть в момент завершения уплотнения бетонная смесь не содержит пор или пустот:

$$Щ/\rho_{щ} + П/\rho_n + Ц/\rho_c + B \approx 1. \quad (5.1)$$

где  $\rho_{щ}$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_c$  – истинные плотности щебня, песка, цемента, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$Щ$ ,  $П$ ,  $Ц$ ,  $B$  – количество щебня, песка, цемента, воды, соответственно, кг.

5.1.2. Принцип фаз – каркасом бетона является крупный заполнитель, пространство между зернами которого заполняет цементно-песчаный раствор, несколько раздвигающий при этом зерна каркаса:

$$\frac{\Pi}{\rho_{\text{ш}}^{\text{н}}} V_{\text{мз}} \alpha = \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\Pi}{\rho_{\text{п}}} + B, \quad (5.2)$$

где  $\rho_{\text{ш}}^{\text{н}}$  – насыпная плотность грунта, кг/л;

$V_{\text{мз}}$  – межзерновая пустотность щебня, доли ед.;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен.

5.1.3. Закон прочности бетона – прочность бетона зависит от трех основных факторов: активности цемента, водоцементного отношения и качества заполнителей, связанных линейной зависимостью:

$$R_{\sigma} = A R_{\text{ц}} \left( \frac{\Pi}{B} - 0,5 \right) \quad \text{при} \quad \frac{B}{\Pi} \geq 0,4, \quad (5.3)$$

$$R_{\sigma} = A_1 R_{\text{ц}} \left( \frac{\Pi}{B} + 0,5 \right) \quad \text{при} \quad \frac{B}{\Pi} < 0,4, \quad (5.3a)$$

где  $R_{\sigma}$  – предел прочности бетона при сжатии, кг/см<sup>2</sup>;

$A, A_1$  – коэффициент качества заполнителей (табл. 5.1);

$R_{\text{ц}}$  – активность цемента, кг/см<sup>2</sup>.

Значения  $A$  и  $A_1$  берут по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Значение коэффициентов  $A$  и  $A_1$  в зависимости от качества материалов

Характеристика исходных материалов для бетона	$A$	$A_1$
Высококачественные (щебень из плотных и прочных горных пород, песок оптимальной крупности, отвечающий соответствующим стандартам, портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством добавки, заполнители промыты)	0,65	0,43
Рядовые (гравий, соответствующий техническим требованиям ГОСТа, портландцементы средней активности, шлакопортландцементы высокой активности)	0,60	0,40
Пониженного качества (крупный заполнитель пониженного качества, мелкий песок, низкоактивные цементы)	0,55	0,37

5.1.4. На основании результатов многочисленных испытаний установлена экспериментальная зависимость водопотребности бетонной смеси от заданной подвижности (жесткости), вида и наибольшей крупности заполнителя (табл. 5.2 и рис. 5.1). Свойства бетонной смеси определяют согласно ГОСТ 10181-2014.

Графики на рис. 5.1 получены для бетона на гравии, песке средней крупности с водопотребностью 7 % и при расходе портландцемента до 400 кг/м<sup>3</sup> бетона.



5.1.5. По результатам испытаний пластичных бетонных смесей с различными расходами цемента и водоцементными отношениями определены значения коэффициента раздвижки зерен  $\alpha$  (табл. 5.3).

Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $\alpha$  принимают равным 1,05...1,15, в среднем 1,1. Значения  $\alpha$ , меньшие 1,05, принимают в случае использования мелких песков с  $M_k < 2$ .

Для составов жестких смесей с расходом цемента более 400 кг/м<sup>3</sup> значения  $\alpha$  назначают не менее 1,1.

Таблица 5.2

Водопотребность бетонной смеси

ОК, см	Ж, с	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности, мм							
		гравия				щебня			
		10	20	40	80	10	20	40	80
-	40...50	150	135	125	120	160	150	135	130
-	25...35	160	145	130	125	170	160	145	140
-	15...20	165	150	135	130	175	165	150	145
-	10...15	175	160	145	140	185	175	160	155
2...4	-	190	175	160	155	200	190	175	170
5...7	-	200	185	170	165	210	200	185	180
8...10	-	205	190	175	170	215	205	190	185
10...12	-	215	205	190	180	225	215	200	190
12...16	-	220	210	197	185	230	220	207	195
16...20	-	227	218	208	192	237	228	213	202

*Примечания:* 1. Расход воды приведен для смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста 26...28 % и на песке с  $M_{кр} = 2$ .

2. При изменении нормальной густоты цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 3...5 л, в большую сторону – увеличивается на 3...5 л/м<sup>3</sup>.

3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 3...5 л, в большую сторону – уменьшается на 3...5 л.

Таблица 5.3

Значения коэффициента раздвижки зерен  $\alpha$

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Водоцементное соотношение					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,3	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,4	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	1,56	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

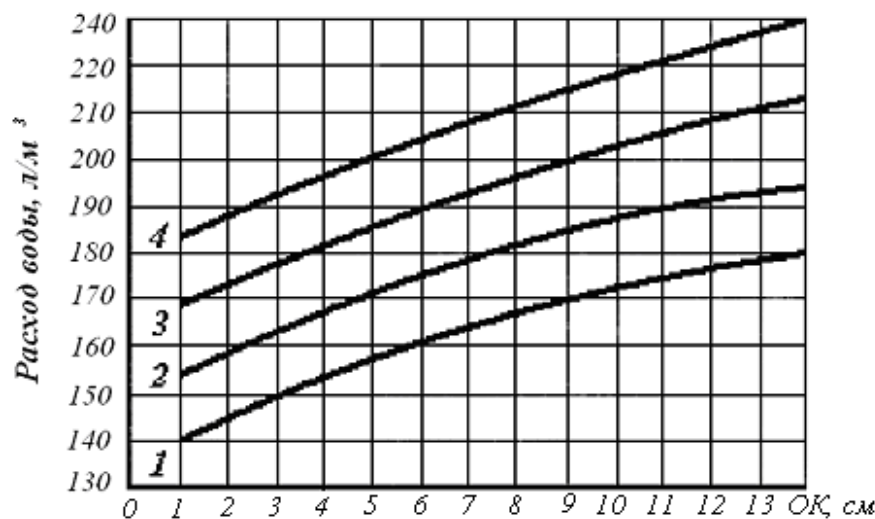
*Примечания:* 1. При других значениях  $C$  и  $B/C$  коэффициент  $\alpha$  находят интерполяцией.

2. При использовании мелкого песка с водопотребностью более 7 % коэффициент  $\alpha$  уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка. Если применить крупный песок с водопотребностью менее 7 %, коэффициент  $\alpha$  увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка.

## 5.2. Испытание материалов для бетона номинального состава

5.2.1. Расчет состава ведут на 1000 л уплотненной бетонной смеси, изготовленной на высушенных заполнителях с отсевом от мелкого заполнителя зерен крупнее 5 мм, а от крупного – мельче 5 мм с разделением крупного заполнителя на отдельные фракции. Состав на таких заполнителях называют номинальным. Его определяют на трех лабораторных составах: начальном и двух дополнительных.

а)



б)

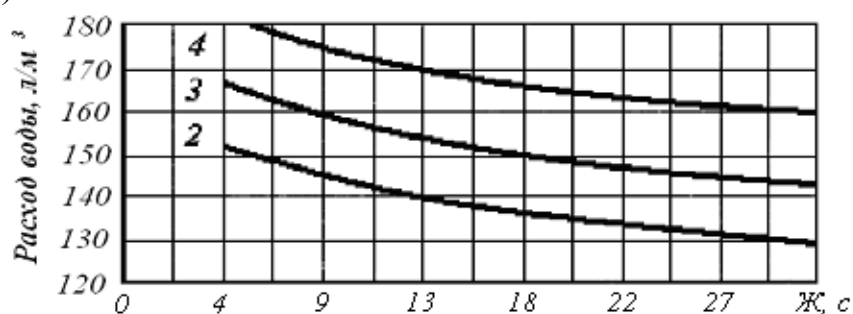


Рис. 5.1. Водопотребность бетонной смеси, приготовленной на гравии с наибольшей крупностью: а – пластичные бетонные смеси; б – жесткие бетонные смеси; 1 – 80 мм; 2 – 40 мм; 3 – 20 мм; 4 – 10 мм

*Примечания:* 1. Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7 %, то расход воды увеличивают на 5 л на каждый процент увеличения водопотребности; при применении крупного песка с водопотребностью ниже 7 % расход воды уменьшают на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности.

2. При применении щебня расход воды увеличивают на 10 л.
3. При использовании пуццолановых цементов расход воды увеличивают на 15...20 л.
4. При перерасходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 10 л на каждые 100 кг цемента.

Дополнительные составы отличаются от начального варьированием наиболее существенного параметра, в данном случае водоцементного отношения, в большую и меньшую стороны на 15...30 %.

5.2.2. Материалы для всех лабораторных замесов одни и те же. Их испытывают до начала подбора, определяя значения  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{ш}$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_{нас.ш}$ ,  $V_{м.з}$ ,  $R_{ц}$ ,  $A$ ,  $A_1$ . Значения коэффициента раздвижки зерен  $\alpha$  определяют по ходу расчета, когда станут известны водоцементное отношение и расход цемента.

5.3. Порядок подбора начального состава бетона

5.3.1. Определяют  $B/C$  по формулам (5.4) и (5.4а), полученным путем преобразования формул (5.3) и (5.3а):

$$\frac{B}{C} = \frac{AR_u}{R_o + 0,5AR_u} \quad \text{при } \frac{B}{C} \geq 0,4; \quad (5.4)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{A_1R_u}{R_o - 0,5A_1R_u} \quad \text{при } \frac{B}{C} < 0,4. \quad (5.4a)$$

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$  принимают по табл. 5.1.

Расчет проводят по формулам (5.4) и (5.4а). Полученные значения  $B/C$  сверяют с граничными условиями по  $B/C$ , отбрасывая не соответствующий условию результат.

5.3.2. Определяют расход воды для получения требуемой подвижности бетонной смеси с помощью рис. 5.1 или табл. 5.2 с учетом поправок, предусмотренных п. 5.1.4.

5.3.3. Находят расход цемента по формуле

$$C = B / \frac{B}{C}. \quad (5.5)$$

Если расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона окажется ниже допускаемого (см. п. 4.6), то необходимо увеличить его до требуемой нормы.

5.3.4. Принимают коэффициент раздвижки зерен по установленным  $B/C$  и расходу цемента согласно п. 5.1.5.

5.3.5. Расход щебня (гравия) определяют по формуле (5.6), полученной решением системы уравнений (5.1) и (5.2) относительно  $Ш$ :

$$Ш = \frac{1000}{\frac{V_{м.з} \alpha}{\rho_{нас.ш}} + \frac{1}{\rho_{ц}}}. \quad (5.6)$$

В эту формулу значение  $V_{м.з}$  вводится в долях единицы, а  $\rho_{нас.щ}$  и  $\rho_{щ}$  в кг/л.

5.3.6. Расход песка определяют по формуле (5.7), полученной преобразованием уравнения (5.2):

$$П = \left( 1000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} - В - \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \rho_n. \quad (5.7)$$

5.3.7. Определяют расчетную объемную массу уплотненной бетонной смеси  $\rho_{б.с}$  кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\rho_{б.с} = В + Ц + П + Щ. \quad (5.8)$$

### Примеры подбора начального состава бетона

**Пример 1.** Требуется подобрать состав бетона В20 для массивной открытой конструкции с редко расположенной арматурой.

Материалы: портландцемент плотностью 3,1 г/см<sup>3</sup>, активностью 375 кгс/см<sup>2</sup>; песок средней крупности с водопотребностью 7 % и плотностью 2,63 кг/л; гранитный щебень с предельной крупностью 40 мм, плотностью 2,60 кг/л, насыпной плотностью 1,48 кг/л, межзерновой пустотностью 0,43. Твердение – в естественных условиях. Дополнительные требования не устанавливаются.

По табл. 3.1 проверяем, соответствует ли активность цемента классу прочности бетона. По табл. 3.2 устанавливаем, правильно ли выбран вид цемента. По табл. 4.2 определяем необходимую подвижность смеси для заданного типа конструкции  $OK = 2...4$  см. По табл. 4.3 и 4.4 уточняем наибольшую крупность зерен и зерновой состав крупного заполнителя с учетом наличия фракций. По табл. 5.1 принимаем значения коэффициентов  $A = 0,6$  и  $A_1 = 0,4$  (заполнители рядовые, удовлетворяют требованиям соответствующих стандартов). Далее расчет состава ведем в следующем порядке:

1. Определяем  $B/C$  по формулам (5.4) и (5.4а):

$$\frac{B}{C} = \frac{0,6 \cdot 375}{250 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 375} = 0,62;$$

$$\frac{B}{C} = \frac{0,4 \cdot 375}{250 - 0,5 \cdot 0,4 \cdot 375} = 0,86.$$

Второй результат не соответствует граничным условиям п. 5.3.1. Принимаем  $B/C = 0,62$ .

2. Устанавливаем расход воды для  $OK = 3$  см по рис. 5.1,  $\alpha = 173$  л, по табл. 5.2 – 175 л.

Принимаем среднее значение 174 л.

3. Находим расход цемента по формуле (5.5):

$$Ц = \frac{174}{0,62} = 280 \text{ кг.}$$

Проверяем по п. 4.6 допустимость полученного расхода цемента по минимальному уровню.

4. Зная  $B/Ц$  и расход цемента, устанавливаем коэффициент раздвижки зерен по табл. 5.3 путем интерполяции:  $\alpha = 1,33$ .

5. Определяем расход щебня по формуле (5.6):

$$Щ = \frac{1000}{\frac{0,43 \cdot 1,33}{1,48} + \frac{1}{2,6}} = 1300 \text{ кг.}$$

6. Расход песка рассчитываем по формуле (5.7):

$$П = \left( 1000 - \frac{280}{3,1} - 174 - \frac{1300}{2,6} \right) \cdot 2,63 = 620 \text{ кг.}$$

7. Определяем среднюю плотность уплотненной смеси по формуле (5.8):

$$\rho_{\text{с.с}} = 174 + 280 + 1300 + 620 = 2374 \text{ кг.}$$

**Пример 2.** Подобрать состав бетона класса В25 для устройства пола на заполнителях, указанных в примере 1, при  $НКЩ = 20$  мм, насыпной плотности щебня 1,4 кг/л и межзерновой пустотности – 46 %.

Определяем расчетную прочность бетона по рис. 4.1 – 327,4 кгс/см<sup>2</sup>. По табл. 3.1 выбираем марку цемента М400, а по табл. 3.2 вид цемента – портландцемент. По табл. 4.2 определяем подвижность бетонной смеси для цементобетонного пола ( $OK$ ) – 1...2 см (жесткость 10...6 с). По табл. 5.1 принимаем значение  $A = 0,6$  и  $A_1 = 0,4$ . Расчет состава ведем в описанной последовательности.

1. Определяем  $B/Ц$  по формулам (5.4) и (5.4а):

$$\frac{B}{Ц} = \frac{0,6 \cdot 400}{327,4 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 400} = 0,54;$$

$$\frac{B}{Ц} = \frac{0,4 \cdot 400}{327,4 - 0,5 \cdot 0,4 \cdot 400} = 0,65.$$

Второй результат не соответствует граничным условиям п. 5.1.3. Принимаем  $B/Ц = 0,54$ .

2. Устанавливаем расход воды для  $OK = 1,5$  см и  $Ж = 8$  с по рис. 5.1 – 180 л и табл. 5.2 – 180 л.

3. Находим расход цемента по формуле (5.5):

$$Ц = 180 / 0,54 = 333 \text{ кг.}$$

Согласно п. 4.6 такой расход допустим.

4. Зная  $B/C$  и расход цемента по табл. 5.3, определяем по интерполяции коэффициент раздвижки зёрен:  $\alpha = 1,38$ .

5. Определяем расход щебня по формуле (5.6):

$$Щ = \frac{1000}{\frac{0,46 \cdot 1,38}{1,48} + \frac{1}{2,6}} = 1195 \text{ кг.}$$

6. Расход песка рассчитываем по формуле (5.7):

$$П = \left( 1000 - \frac{333}{3,1} - 180 - \frac{1195}{2,6} \right) \cdot 2,63 = 665 \text{ кг.}$$

7. Определяем среднюю плотность вибрированной смеси по (5.8):

$$\rho_{б.с} = 333 + 180 + 1195 + 665 = 2373 \text{ кг.}$$

### 5.5. Подбор дополнительных составов

5.5.1. Согласно п. 5.2.1 дополнительные составы отличаются от начального варьированием водоцементного отношения в большую и меньшую стороны. Подберем дополнительные составы для примера 1, приняв величину отклонения водоцементного отношения равной 20 %, неизменными остаются подвижность смеси и свойства материалов (табл. 5.4).

5.5.2. Изменение водоцементного отношения обуславливает изменение расхода цемента и, следовательно, коэффициента раздвижки зерен, которое, в свою очередь, изменит расход крупного заполнителя, а также песка. Расход воды остается неизменным, так как подвижность бетонной смеси и наибольшая крупность заполнителя согласно заданию не меняются.

### 5.6. Приготовление и корректировка опытных замесов

Таблица 5.4

Компонентный состав цементобетонных смесей

Компоненты смеси	Расход материалов на 1000 л бетонной смеси, кг, при водоцементном отношении		
	0,62 (начальный состав)	0,50	0,74
Вода	174	174	174
Цемент	280	348	235
Щебень	1300	1282	1299
Песок	620	581	657
<i>Всего</i>	2374	2385	2365

5.6.1. Расход материалов на каждый замес, из которого должно быть отформовано заданное количество кубов с ребром 10, 15 или 20 см,

берется с избытком не менее 10 %. Например, для изготовления трех кубов с размером 15 см (объем куба 3,38 л) готовят замес объемом 12 л, для чего значения  $C$ ,  $B$ ,  $Щ$  и  $П$ , рассчитанные на 1000 л бетонной смеси, умножают на 0,012. Для изготовления трех кубов с ребром 10 см готовят замес объемом 7 л из расчета объема бетонной смеси, необходимой для заполнения конуса при определении подвижности бетонной смеси.

5.6.2. Материалы следует дозировать по массе с погрешностью не более 1 %. Воду и водные растворы добавок дозируют по массе или по объему.

5.6.3. Приготовление опытных замесов начинают с перемешивания сухих материалов и затем постепенно добавляют в замес расчетное количество воды и водного раствора добавки. Перемешивание проводят в лабораторном смесителе. Опытные замесы тяжелого бетона объемом до 15 л допускается проводить вручную на предварительно увлажненном противне с перемешиванием в течение 3...5 мин.

5.6.4. После окончания перемешивания отбирают пробы для проверки удобоукладываемости, а также других, предусмотренных заданием свойств бетонной смеси. Определение удобоукладываемости начинают через 15 мин (не ранее) после начала перемешивания смеси с водой. Бетонную смесь, которая не удовлетворяет заданной удобоукладываемости, допускается корректировать при вторичном перемешивании с добавлением тех или иных компонентов в необходимых количествах до получения смеси с заданными свойствами.

5.6.5. Проверка удобоукладываемости состоит в определении подвижности или жесткости смеси.

Подвижность бетонной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах величиной осадки конуса  $OK$ , отформованного из бетонной смеси.

Подвижность бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупности до 40 мм включительно определяют на обычном конусе.

Осадку конуса  $OK$  определяют в следующей последовательности на приборе, представленном на рис. 5.2.

Очищенный и протёртый влажной тканью конус 2 ставят на ровную площадку и заполняют бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты, уплотняя каждый слой штыкованием металлическим стержнем 25 раз.

После уплотнения бетонной смеси в конусе избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса. Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на съём конуса, должно составлять 3...7 с.

Осадку конуса определяют, укладывая металлическую линейку наверх конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью до 0,5 см. Осадку конуса бетонной смеси определяют дважды, вычисляют с округлением до 1,0 см как среднее арифметическое двух определений  $OK$  из одной пробы. При большом расхождении

результатов определение повторяют на новой пробе. Если после снятия конуса бетонная смесь разваливается, испытание повторяют так же на новой пробе.

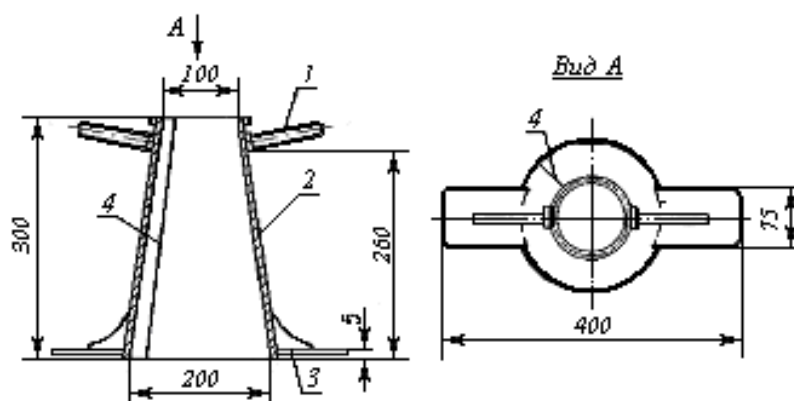


Рис. 5.2. Конус для определения подвижности бетонной смеси:

1 – ручка; 2 – корпус прибора; 3 – упоры; 4 – сварной шов

Если  $OK$  равна 0, то смесь признают не обладающей подвижностью, и она должна характеризоваться жесткостью.

Жесткость бетонной смеси  $Ж$  характеризуется временем вибрации (в секундах), необходимым для вибрирования и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости (рис. 5.3).

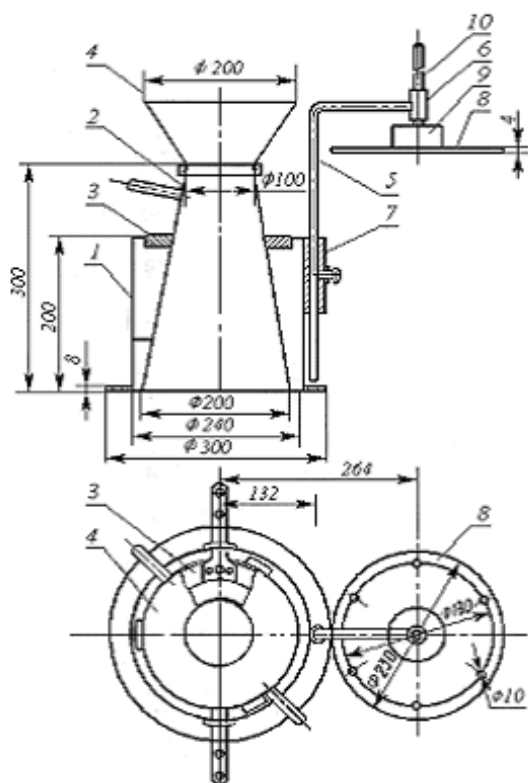


Рис. 5.3. Прибор для определения жесткости бетонной смеси:

1 – цилиндрическое кольцо с фланцем в основании;  
2 – конус; 3 – кольцо-держатель с ручками;  
4 – загрузочная воронка;  
5 – штатив; 6 – направляющая втулка; 7 – фиксирующая втулка с зажимным винтом;  
8 – диск с шестью отверстиями;  
9 – стальная шайба;  
10 – штанга



Жесткость бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно определяют на лабораторной виброплощадке в следующей последовательности. Очищенный и протертый влажной тканью прибор устанавливают на виброплощадке в таком порядке: устанавливают и жестко закрепляют цилиндрическое кольцо прибора 1, в которое вставляют конус 2 и закрепляют его ручками 3, заводя их в пазы кольца, после чего устанавливают воронку 4.

Заполнение конуса прибора бетонной смесью, уплотнение и снятие конуса с отформованной смеси проводят так же, как при определении подвижности.

Поворотом штатива 5 диск 8 устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его на поверхность конуса смеси. Штатив закрепляют в фиксирующей втулке 7 зажимным винтом. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за уплотнением и выравниванием бетонной смеси. Вибрирование проводят до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска.

В этот момент секундомер выключают. Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 %. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе. Общее время испытания дважды определенной жесткости не должно превышать 15 мин.

Если подвижность смеси получилась меньше требуемой, то в опытный замес добавляют по 5...10 % цемента и воды с соблюдением принятого  $B/C$ . Если подвижность получилась более требуемой, то в замес добавляется песок и щебень – по 5...10 % от расчетного в принятом соотношении. Путем нескольких попыток добиваются заданной подвижности смеси.

5.6.6. Вторая проверка состоит в определении фактической средней плотности бетонной смеси. Свежеприготовленная бетонная смесь с заданной подвижностью укладывается в мерный сосуд и вибрируется на стандартной виброплощадке до прекращения осаждения бетонной смеси и выделения из нее пузырьков воздуха.

Фактическую среднюю плотность уплотненной бетонной смеси (кг/л) вычисляют по формуле

$$\rho_{б.с} = \frac{m_2 - m_1}{V^{\phi}}, \quad (5.9)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы пустого сосуда и сосуда с бетоном, кг;  
 $V^{\phi}$  – объем сосуда, л.

Зная плотность полученной бетонной смеси и расход материалов на пробный замес, определяют фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$\begin{aligned} Ц &= \frac{\rho_{б.с}}{\sum m} m_{ц}; & В &= \frac{\rho_{б.с}}{\sum m} m_{в}; \\ Щ &= \frac{\rho_{б.с}}{\sum m} m_{щ}; & П &= \frac{\rho_{б.с}}{\sum m} m_{п}, \end{aligned} \quad (5.10)$$

где  $m_{ц}$ ,  $m_{щ}$ ,  $m_{п}$ ,  $m_{в}$  – фактические расходы материалов на пробный замес, кг;  
 $\sum m$  – суммарная масса всех материалов в замесе.

5.7. Приготовление, испытание контрольных образцов и обработка результатов

5.7.1. Для проверки прочности батона из откорректированной бетонной смеси готовят контрольные образцы. На каждый срок испытания изготавливают не менее трех образцов в стальных или чугунных формах с тонким слоем смазки с точностью размеров  $\pm 1$  %. Углы между гранями должны составлять  $(90 \pm 2)^\circ$ . Укладку бетонной смеси заканчивают в течение 30 мин после изготовления. Бетонную смесь уплотняют на лабораторной виброплощадке с частотой колебаний  $(3000 \pm 200)$  кол/мин и амплитудой под нагрузкой 0,35 мм. Формы должны быть жестко закреплены на деке виброплощадки (механическим или магнитным захватом).

Признаком достаточности виброуплотнения является прекращение оседания бетонной смеси, выравнивание ее поверхности и появление на ней тонкого слоя цементного теста. Поверхность образца заглаживают кельмой.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключающим возможность испарения из них влаги, в помещении с температурой воздуха  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч для бетонов класса В7,5 (М100) и выше и не ранее чем через 48 ч – для бетонов класса В5 (М75) и ниже, а также для бетонов с добавками, замедляющими их твердение в раннем возрасте.

После распалубливания образцы должны быть помещены в камеру, обеспечивающую у поверхности образцов нормальные условия, то есть температуру  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительную влажность воздуха  $(95 \pm 5)\%$ . Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которых он установлен, не должна составлять более 30 % площади опорной грани образца. Образцы

в камере нормального твердения не должны непосредственно орошаться водой. Допускается хранение образцов вод слоем влажных песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

5.7.2. Перед испытанием образцы осматривают, измеряют грани по серединам с точностью до 1 мм. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы. На опорные (боковые) грани образцов-кубов наносят осевые линии, по которым центрируют образец при испытании. Образцы устанавливают на нижнюю опорную плиту центрально по оси прессы. Напряжение в образце при нагружении должно возрастать непрерывно с постоянной скоростью  $(6 \pm 2) \text{ кгс/см}^2$  в секунду до его разрушения.

Рабочую площадь сечения образцов определяют как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней. Прочность тяжелого бетона (МПа) вычисляют для каждого образца по формуле

$$R = \alpha_m \frac{P}{F} 0,1^{-2}, \quad (5.11)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$F$  – средняя площадь рабочего сечения образца,  $\text{см}^2$ ;

$\alpha_m$  – масштабный коэффициент прочности бетона для образцов-кубов;  $10^{-2}$  – коэффициент пересчета, МПа.

В случае разрушения образца по одной из дефектных схем, указанных на рис. 5.4, при определении средней прочности серии этот результат не учитывают.

5.7.3. Для тяжелого бетона за базовый принимают образец размером  $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$ . Если образец отличается от базового, то для определения фактической прочности следует провести пересчет с использованием масштабного коэффициента по табл. 5.5.

Таблица 5.5

Значения масштабного коэффициента

Куб с ребром, мм	Минимальное значение масштабного коэффициента для тяжелого бетона
70	0,85
100	0,95
150	1,00
200	1,05
300	1,10

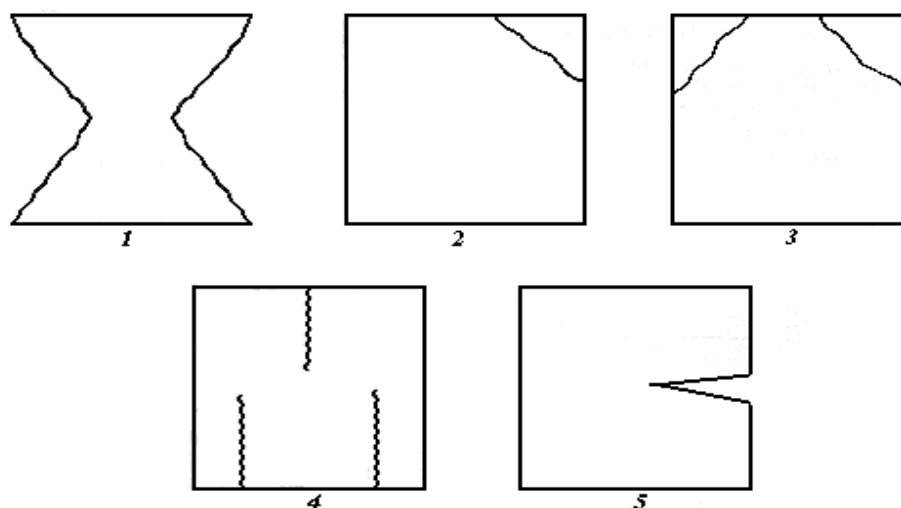


Рис. 5.4. 1 – нормальное разрушение; 2–5 – дефектные разрушения

Прочность бетона в серии определяют в соответствии с требованиями пп. 4.2; 4.3.

Если возраст бетона отличается от расчетного (28 сут), то для обычного портландцемента средних марок может быть применена формула

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (5.12)$$

где  $n$  – возраст бетона в сутках ( $n$  должен быть более 3).

5.7.4. По результатам испытаний бетонной смеси и бетона рассчитанных составов устанавливают зависимость свойств бетонной смеси от водоцементного (цементноводного) отношения и расхода материалов и строят график  $R_b = f(B/C)$  или  $R_b = f(C/B)$ . По графику определяют значение  $(B/C)$  ( $C/B$ ), соответствующее заданной прочности бетона, пересчитывают состав бетона, исходя из найденного значения, и проверяют его соответствие всем другим нормируемым показателям качества. При положительных результатах испытаний подобранный состав принимают за номинальный.

## 6. РАБОЧИЙ СОСТАВ БЕТОНА И РАБОЧИЕ ДОЗИРОВКИ МАТЕРИАЛОВ

6.1. Номинальный состав бетона определяют на сухих фракционированных заполнителях, причем каждая фракция должна быть чистой, не засоренной другими фракциями. В производственных условиях обычно наблюдается увлажнение и взаимное засорение фракций.

6.2. Расход заполнителей и вода в рабочем составе с учетом фактической влажности заполнителей, содержания крупного заполнителя в мелком и мелкого заполнителя в крупном определяют по формулам:

$$Z_p = Z^0 \left( 1 + \frac{W_i}{100} \right); \quad (6.1)$$

$$B_p = B^0 - \frac{\sum Z_i^0 W_i}{100}; \quad (6.2)$$

$$\overline{P} = \frac{P(1 - P_{щ}) - ЩП_{щ}}{1 - P_{щ} - Щ_{п}}; \quad (6.3)$$

$$\overline{Щ} = \frac{Щ(1 - Щ_{п}) - ПЩ_{п}}{1 - P_{щ} - Щ_{п}}, \quad (6.4)$$

где  $Z_p$  – расход заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$W_i$  – влажность по массе  $i$ -й фракции заполнителя, %;

$Z^0$  – расход по номинальному составу сухого заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$B_p, B^0$  – расход воды по рабочему и номинальному составу, л/м<sup>3</sup>;

$P, Щ$  – расход песка и крупного заполнителя по номинальному составу, кг/м<sup>3</sup>;

$\overline{P}, \overline{Щ}$  – расход песка и крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>, с учетом содержания песка в крупном заполнителе  $P_{щ}$  и крупного заполнителя в песке  $Щ_{п}$  в долях массы.

6.3. Определение коэффициента выхода бетонной смеси и расчет рабочих дозировок материалов в используемый бетоносмеситель.

При изготовлении бетонной смеси происходит уменьшение общего объема материала, так как зерна песка располагаются между зернами щебня, а частицы цемента между зернами песка. Поэтому если насыпать в емкость  $Щ, П, Ц$  и перемешать, то объем смеси будет меньше первоначальной суммы объемов. Степень уменьшения объема материалов характеризуется *коэффициентом выхода бетонной смеси  $\beta^{BC}$* :

$$\beta^{bc} = \frac{1000}{\frac{Щ}{\rho_{щ}^H} + \frac{П}{\rho_n^H} + \frac{Ц}{\rho_{ц}^H}} \approx 0,6 \div 0,8, \quad (6.5)$$

где  $Щ, П, Ц$  – количество щебня, песка и цемента (в кг) в рабочем составе бетона;

$\rho_{щ}^H, \rho_n^H, \rho_{ц}^H$  – насыпная плотность щебня, песка и цемента.

Определение расхода материалов бетонной смеси на один замес бетоносмесителя рассчитывают по следующим уравнениям:

$$Ц^{BC} = \frac{ЦV_{BC}\beta}{1000}; \quad П^{BC} = \frac{П_P V_{BC}\beta}{1000}; \quad Щ^{BC} = \frac{Щ_P V_{BC}\beta}{1000}; \quad B^{BC} = \frac{B_P V_{BC}\beta}{1000}, \quad (6.6)$$

где  $Ц^{BC}, Щ^{BC}, П^{BC}, B^{BC}$  – количество щебня, песка и цемента (в кг) на один замес бетоносмесителя;

$\mathcal{C}, \mathcal{Ш}_p, \mathcal{П}_p, B_p$  – количество щебня, песка и цемента (в кг) в рабочем составе бетона;

$V^{BC}$  – объем используемого бетоносмесителя, л;

$\beta$  – коэффициент выхода бетонной смеси.

#### 6.4. Примеры расчета рабочего состава бетона

**Пример 1.** Номинальный состав тяжелого бетона: цемента – 300 кг, воды – 150 л, щебня – 1300 кг, песка – 600 кг. Щебень и песок взаимно не засорены. Влажность песка 5 %, щебня 3 %. Определить рабочий состав.

$$\mathcal{Ш}_p = 1300 \left( 1 + \frac{3}{100} \right) = 1339 \text{ кг}; \quad \mathcal{Ц}_p = 300 \text{ кг};$$

$$\mathcal{П}_p = 600 \left( 1 + \frac{5}{100} \right) = 630 \text{ кг};$$

$$B_p = 150 - \frac{1300 \cdot 3 + 600 \cdot 5}{100} = 81 \text{ л}.$$

**Пример 2.** Номинальный состав тяжелого бетона и влажности заполнителей те же, что и в примере 1. Содержание песка в щебне 6 %, щебня в песке 4 %. Определить рабочий состав.

Поскольку засоренность определяют исходя из номинального состава, то вначале вычисляют расход сухих заполнителей:

$$\overline{\mathcal{П}} = \frac{600(1 - 0,06) - 1300 \cdot 0,06}{1 - 0,06 - 0,04} = 540 \text{ кг}.$$

$$\overline{\mathcal{Ш}} = \frac{1300(1 - 0,04) - 600 \cdot 0,04}{1 - 0,06 - 0,04} = 1360 \text{ кг}.$$

Затем вычисляют рабочий состав бетона:

$$\mathcal{П}_p = 540 \cdot 1,05 = 567 \text{ кг}.$$

$$\mathcal{Ш}_p = 1360 \cdot 1,03 = 1404 \text{ кг}.$$

$$B_p = 150 - \frac{540 \cdot 5 + 1360 \cdot 3}{100} = 82 \text{ кг}.$$

$$\mathcal{Ц}_p = 300 \text{ кг}.$$

Сумма масс компонентов рабочего состава равна сумме масс компонентов номинального состава.

### Контрольные вопросы

1. Понятие о цементобетоне и цементобетонной смеси. Роль составляющих бетонную смесь.
2. Основные свойства бетонных смесей.
3. Как классифицируются бетонные смеси по показателю удобоукладываемости?
4. Каким материалам отдадите предпочтение при производстве цементобетонной смеси: щебню или гравию; песку природному или искусственному? Почему?
5. Понятие о тиксотропных свойствах бетонной смеси. При каких технологических операциях изготовления бетонных смесей используется это свойство?
6. Что такое марка бетона?
7. Дайте понятие среднего уровня прочности бетона.
8. Дайте понятие класса прочности бетона.
9. Назовите основные показатели, предопределяющие прочность бетона.
10. С какой целью в бетонную смесь добавляют пластификаторы?
11. С какой целью в бетонную смесь добавляют воздухововлекающие добавки?
12. Как корректируется состав бетонной смеси, если ее подвижность выше или ниже значения, принятого при расчете.
13. Как корректируется состав бетонной смеси, если фактическая прочность бетона отличается от принятой в расчете.
14. Как определить подвижность бетонной смеси?
15. Какие существуют формы выражения состава бетонной смеси?

### Библиографический список

1. Свод правил СП 35.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84\*. Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2011. – 341 с.
2. Свод правил СП 46.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04–91. Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 142 с.
3. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Взамен ГОСТ 10180–90. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 40 с.
4. ГОСТ 27006–86. Бетоны. Правила подбора состава. – Введ. 1987-01-01. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 8 с.
5. ГОСТ 18105–2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – Взамен ГОСТ 18105–86\*. – Введ. 2012-09-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 16 с.
6. ГОСТ 26633–2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 26633–91. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 14 с.
7. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Введ. 1995-01-01. – М.: Госстрой России, 1996. – 18 с.
8. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8736–93. – Введ. 2015-04-01. – М.: Стандартиформ, 2015. – 16 с.
9. ГОСТ Р 55224–2012. Цементы для транспортного строительства. Технические условия. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 12 с.
10. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. – Введ. 2004-09-01. – М.: Стандартиформ, 2004. – 16 с.
11. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – Взамен ГОСТ 10178–85. – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 12 с. 33
12. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. – Взамен ГОСТ 24211–2003; введ. 2012-10-01. – М.: Стандартиформ, 2011. – 12 с.
13. ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 23732–79. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 30 с.
14. ГОСТ 10181–2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 10181–2000. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартиформ, 2015. – 24 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Общие положения.....	4
2. Задание на подбор состава бетона.....	5
3. Требования к материалам для приготовления бетона.....	6
4. Исходные данные для подбора состава бетона.....	8
5. Расчетно-экспериментальный способ определения номинального состава тяжелого бетона.....	14
6. Рабочий состав бетона и рабочие дозировки материалов.....	27
Контрольные вопросы.....	30
Библиографический список.....	31